CENTRE DE RECHERCHE
SUR LES TRANSPORTS
(C.R.T.)
CENTRE FOR RESEARCH
ON TRANSPORTATION

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
ÉCOLE DES HAUTES ÉTUDES COMMERCIALES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE

CENTRE DE RECHERCHE SUR LES TRANSPORTS
UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
C.P. 6128, SUCCURSALE A.
MONTRÉAL
CANADA H3C 3J7

TÉLÉPHONE: (514) 343-7575
TÉLEX: 05-24146 BIBPOLYTEC
EMAIL: crt@crt.umontreal.ca
TÉLÉCOPIEUR (FAX): (514) 343-7121

90-06639/

CRT-687

UN OUTIL INTERACTIF-GRAPHIQUE DE PLANIFICATION DE ZONES DE LIVRAISON

par

André Langevin

Centre de recherche sur les transports - Publication # 687

Mai 1990

Dépôt légal - 2e trimestre 1990

ABSTRACT

In planning a delivery system, the first step is to partition the territory to cover into zones assigned to each vehicle. An interactive-graphic tool used to design the delivery zones on screen is presented. Analytic formulas determine the optimal shape of a zone and help the planner to design zones while taking into account the speed of the vehicle, the density of the demand, the location of the zone, and maximal duration or maximum number of stops in a route.

Key words : Transportation of goods, distribution, delivery, vehicle routing.

- - - - - - - -

RÉSUMÉ

Dans la planification d'un système de livraison par véhicule, une première étape consiste à partitionner l'ensemble du territoire à couvrir en zones affectées, chacune, à un véhicule. Nous présentons un outil interactif-graphique qui permet au planificateur de construire progressivement à l'écran les zones de livraison tout en recevant des informations guidant son travail. Ces informations sont obtenues à partir de formules analytiques qui permettent de déterminer les dimensions optimales d'une zone en fonction de la vitesse des véhicules, de la densité de la demande (nombre de points à visiter), de l'éloignement de la zone et, de la durée maximale d'une tournée ou du nombre maximum de points pouvant être visités par un véhicule.

Mots-clés : Transport des marchandises, distribution, livraison, tournées de véhicules.

1. INTRODUCTION

La confection des itinéraires pour une flotte de véhicules de livraison est un problème difficile à résoudre en raison de son caractère hautement combinatoire. Une façon d'aborder ce problème est de décomposer la solution en deux phases : on subdivise l'ensemble des clients à visiter en groupes, chacun des groupes étant affecté à un seul véhicule puis, on établit la meilleure tournée possible pour chacun des véhicules. Cette approche est connue sous le nom de "clustering first, routing second". Elle a l'avantage de diminuer la taille des problèmes de tournée à résoudre.

Le présent article propose une méthode interactive-graphique pour résoudre la première phase, i.e. le regroupement des points par véhicule. L'objectif est de déterminer la forme et les dimensions des secteurs de livraison (chaque secteur étant affecté à un seul véhicule) de façon à minimiser la distance totale parcourue par l'ensemble des véhicules. Les véhicules partent d'un dépôt commun, se rendent à leur secteur de livraison puis, après avoir visité tous les clients de leur secteur, reviennent au dépôt.

La méthode développée s'applique au domaine de la livraison de colis (service postal ou service de livraison express) lorsque la longueur des tournées est limitée soit par la durée soit par le nombre de clients à visiter. Ces contraintes proviennent des conventions de travail des sociétés de transport. Dans ce contexte, les problèmes de taille optimale des lots ou coûts d'entreposage ne se posent pas.

Nous présentons à la section 2 des formules analytiques qui permettent de prévoir la longueur des tournées en fonction du nombre de points à visiter et de l'aire à couvrir. Nous exposons à la section 3 une méthode pour déterminer les dimensions optimales des zones de livraison et la façon de l'intégrer à un système interactif-graphique de planification. Enfin, la section 3 propose quelques extensions de la méthode.

2. FORMULES ANALYTIQUES DE PRÉVISION DE LONGUEUR DE TOURNÉES

L'utilisation de formules analytiques pour obtenir une approximation de la longueur des tournées au lieu des méthodes combinatoires permet une planification à partir d'une distribution moyenne des points de livraison. Ceci donne des secteurs de livraison qui sont stables et qui ne fluctuent pas au gré des variations journalières de la demande. Les chauffeurs préfèrent cette solution qui leur permet de mieux connaître leur secteur, ce qui a en plus un impact positif sur la productivité. De plus, il n'est pas nécessaire de fabriquer les tournées pour procéder à la planification du réseau de livraison.

Pour pouvoir déterminer les dimensions optimales d'un secteur de livraison, il est nécessaire d'avoir une formule qui donne la longueur d'une tournée en fonction de la forme et de l'aire du secteur.

(Larson 81) présente une formule d'approximation de la longueur optimale (L_n^*) d'une tournée pour visiter n points uniformément distribués sur une surface d'aire A (lorsque celle-ci est relativement compacte et convexe).

$$L_n^* = k \cdot \sqrt{An} \qquad (1)$$

La constante k a été estimée à 0,765 pour une métrique euclidienne (Stein 78) et à 0,97 (Jaillet 88) pour une métrique manhattan (déplacements parallèles à 2 axes perpendiculaires). Nous allons dans ce qui suit utiliser la métrique manhattan qui correspond aux réseaux routiers urbains nord-américains.

Cependant, l'équation (1) n'établit pas de lien entre la forme de la zone et la longueur de la tournée. Pour pallier cette lacune, (Daganzo 84) a proposé une stratégie particulière de confection de tournée : on couvre le secteur de livraison d'une bande de largeur w et les clients sont visités selon l'ordre longitudinal de leur position sur la bande (figure 1). La largeur optimale de la bande est $w^* = \sqrt{3/\partial}$ où ∂ est la densité (n/A).

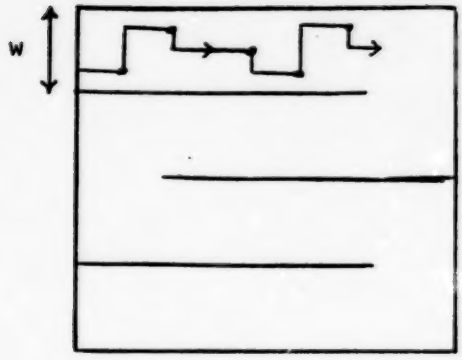

Figure 1 : Stratégie de bande pour la tournée

La longueur de la tournée (avec la métrique manhattan) est alors donnée par:

$$L_n^* = 1.15 \sqrt{An}.$$

Cette stratégie de routing, bien que sous-optimale, a l'avantage d'être extrêmement facile à utiliser manuellement ou à implanter sur ordinateur. De plus, (Newell 86) a montré comment on peut aisément améliorer par des techniques simples cette solution pour s'approcher davantage de la solution optimale.

(Newell 86) a utilisé la stratégie de Daganzo pour analyser la confection de secteurs de livraison sous des contraintes de capacité (nombre maximum de points à visiter) et lorsque le véhicule part et revient à un dépôt.

L'objectif est de minimiser la distance totale incluant l'aller-retour au dépôt. Les zones doivent être rectangulaires et placées en anneaux concentriques. Si le centre du secteur de livraison est à une distance r du dépôt et si C est le nombre maximum de points pouvant être visités par un véhicule, alors les dimensions optimales du secteur de livraison sont données par

$$w^* = \sqrt{3/2\theta} \text{ et } \ell^* = C/\sqrt{6\theta}. \qquad (2)$$

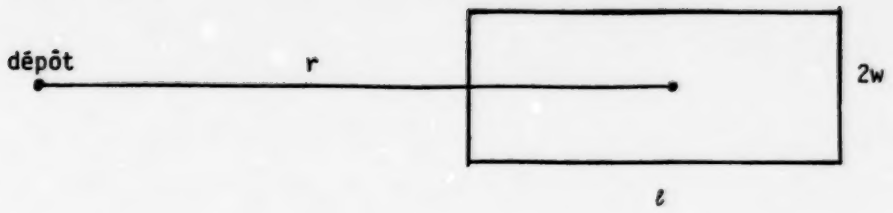

Figure 2 : Stratégie de bande avec aller-retour au dépôt

On peut démontrer que la bande doit commencer et se terminer du côté le plus rapproché du dépôt et n'effectuer qu'un aller-retour pour minimiser le déplacement.

(Langevin 89) a étudié le problème de confection des secteurs de livraison sous des contraintes de durée maximale de tournées. En utilisant la même approche que (Newell 86).

Il a démontré que la largeur optimale de la bande est $w^* = \sqrt{3/2\vartheta}$ et la longueur optimale de la zone est

$$\ell^* = \frac{Tv - 2r}{2 + \sqrt{6\vartheta}\ \tau v} \qquad (3)$$

où T : durée maximale de la tournée
v : vitesse du véhicule
τ : temps de livraison chez un client.

3. MÉTHODE INTERACTIVE-GRAPHIQUE

(Newell 86) et (Langevin 89) ont étudié le découpage en secteurs d'une région circulaire avec le dépôt situé au centre de la région. Ils ont montré comment, lorsque la densité varie en fonction du rayon, former les secteurs progressivement de la périphérie vers le centre, l'ensemble des secteurs étant placés en anneaux concentriques autour du dépôt. Bien qu'utile pour comparer théoriquement des formes différentes d'organisation, ces études ne correspondent pas à la réalité pour plusieurs raisons : une région urbaine réelle n'est pas nécessairement circulaire; le dépôt peut être situé n'importe où; la densité peut ne pas varier en fonction de l'éloignement du dépot; etc.

Les formules (2) et (3) peuvent cependant être utilisées pour déterminer les dimensions optimales d'un secteur et guider ainsi le planificateur dans le partitionnement d'une région.

La méthode consiste essentiellement à construire progressivement un secteur de livraison en regroupant peu à peu de petites parties du territoire (appelées mini-zones dans la suite) jusqu'à ce qu'on atteigne la limite de durée de la tournée ou le nombre maximum de clients. Le choix des mini-zones est dicté par l'affichage à l'écran en superposé du secteur optimal dont les dimensions peuvent être calculées en fonction de l'éloignement du dépôt, de la densité de la demande, de la vitesse du véhicule, du temps de livraison chez le client, de la durée maximale de la tournée et du nombre maximum de clients à visiter.

Les données nécessaires à l'utilisation de la méthode sont les suivantes: le territoire à couvrir doit être préalablement divisé en un grand nombre de mini-zones et, pour chacune d'entre-elles,on doit connaître

- son aire, a_i;
- sa densité (ou le nombre de points à visiter), ∂_i;
- les coordonnées de son centroïde, x_i, y_i;
- la distance du centroïde au dépôt, d_i.

Une carte illustrant ces mini-zones est alors affichée à l'écran. Pour un exemple, voir la figure 3. Le planificateur choisit alors un certain nombre de mini-zones (à l'aide d'une "souris", par exemple) pour former un secteur. L'aire, la densité et la distance du centroïde au dépôt peuvent alors être calculées pour le secteur en formation, ainsi que le nombre de clients du secteur ou la durée estimée de la tournée pour les visiter.

- l'aire du secteur : $a = \Sigma\ a_i$;
- la densité du secteur : $\partial = \dfrac{\Sigma \partial_i\ a_i}{\Sigma\ a_i}$;

- les coordonnées du centroïde du secteur : $x = \frac{\Sigma\, x_i\, \partial_i\, a_i}{\Sigma\, \partial_i\, a_i}$, $y = \frac{\Sigma\, y_i\, \partial_i\, a_i}{\Sigma\, \partial_i\, a_i}$.

À partir des équations (2) et (3), on peut déduire la longueur optimale (L_n^*) de la tournée, incluant l'aller-retour au dépôt et la durée (D^*) de celle-ci :

$$L_n^* = 2r + 0{,}816\sqrt{An}$$

$$D^* = \frac{L_n^*}{v} + \partial A\tau .$$

Les dimensions du secteur optimal telles que calculées par (2) ou (3) sont alors affichées en superposé et guident ainsi le choix des mini-zones.

Il est à noter que la longueur optimale du secteur est $2w^* = 2 \cdot \sqrt{3/2\partial}$ et ne dépend que de la densité de la demande. Elle est indépendante des autres paramètres. La figure 4 illustre un secteur en formation. Les mini-zones choisies par l'utilisateur sont hachurées et le rectangle du secteur idéal apparaît en superposé. Les figures 3 et 4 ont été obtenues à partir du prototype d'un logiciel nommé PLANI-ZONE et qui intègre les éléments décrits précédemment. Les données provenaient de la région urbaine de Montréal.

Le planificateur peut donc enlever ou ajouter des mini-zones à son gré et vérifier immédiatement l'impact de ces changements sur la durée de la tournée, le nombre de points à visiter et la surface couverte. Il est alors en mesure de trouver les meilleurs compromis possibles entre la forme idéale (optimale) d'un secteur et les contraintes géographiques et humaines de tout ordre, tout en ayant connaissance des conséquences de ses choix, i.e. en obtenant une évaluation à la fois quantitative et visuelle de ceux-ci. Ainsi le secteur est formé à partir de l'expérience du planificateur et de sa connaissance des contraintes géographiques réelles.

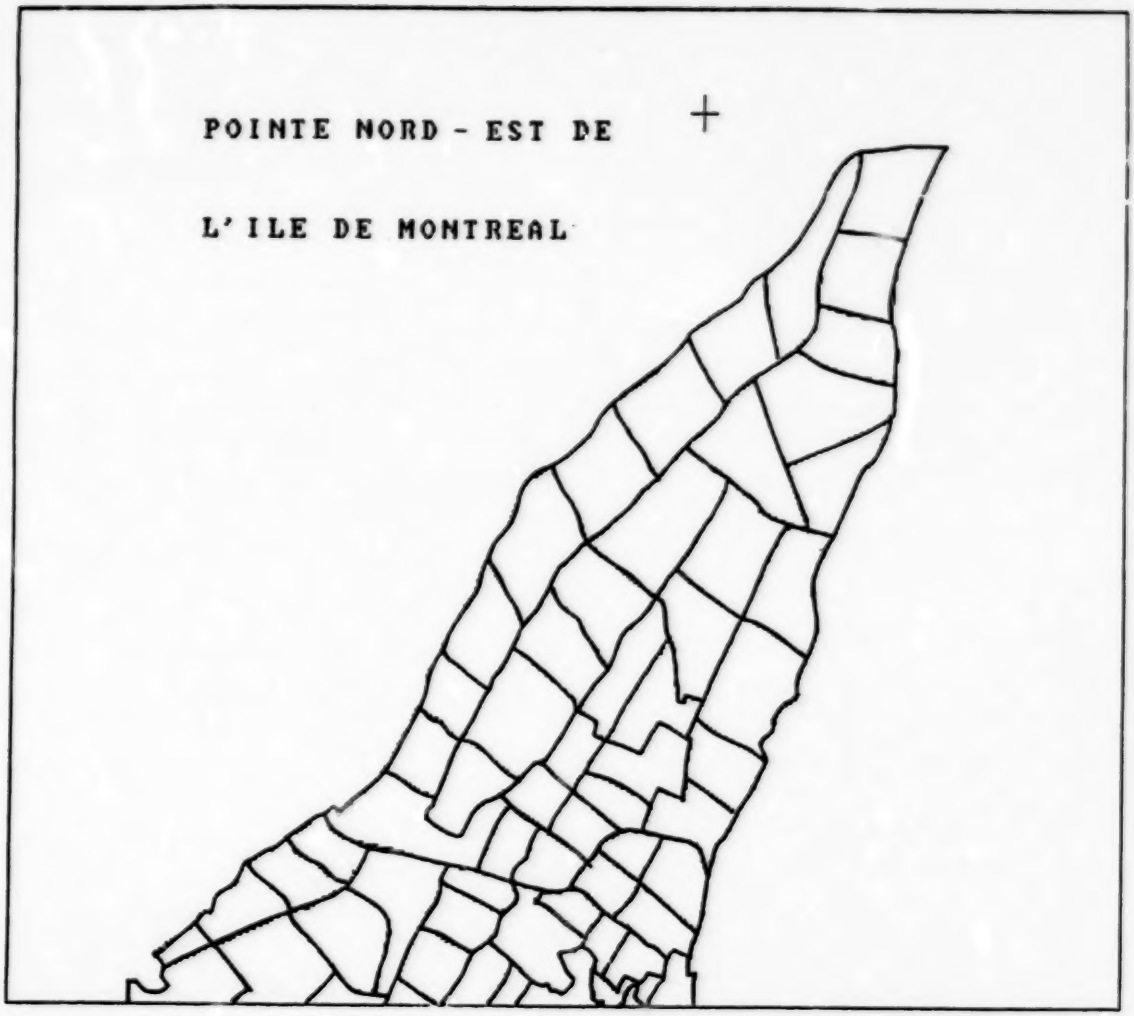

Figure 3 : Mini-zones d'une partie de la région urbaine de Montréal

Figure 4 : Secteur optimal et mini-zones choisies par l'utilisateur

4. EXTENSIONS

Il est possible de modifier le modèle précédant (Langevin 89) pour tenir compte de l'utilisation de voies rapides pour aller du dépôt au secteur de livraison. On définit v_1 la vitesse du véhicule sur les autoroutes et v_2 la vitesse à l'intérieur du secteur de livraison.

La contrainte de durée maximale s'écrit alors comme suit :

$$\left[2r - A/2w\right]\frac{1}{v_1} + \left[A/w + \frac{w}{3}\cdot \partial A\right]\frac{1}{v_2} + \partial A\tau \leq T \qquad (4)$$

où le premier terme de la somme correspond au temps d'un aller-retour du dépôt au secteur en utilisant les voies rapides, le deuxième terme représente le temps de déplacement dans le secteur et le troisième terme, le temps de livraison chez les clients.

L'inéquation (4) peut s'écrire :

$$\frac{2r}{v_1} + \frac{A}{w}\left[\frac{1}{v_2} - \frac{1}{2v_1}\right] + \frac{w}{3}\frac{\partial A}{v_2} + \partial A\tau \leq T \qquad (5)$$

Or, comme l'objectif de minimiser la distance par unité de surface est une fonction décroissante de A (Langevin 89) et que le terme $\frac{1}{v_2} - \frac{1}{2v_1}$ dans (5) est positif, on doit prendre A le plus grand possible, i.e. que la contrainte (5) doit être saturée. En remplaçant dans (5) l'inégalité par une égalité et en utilisant $w^* = \sqrt{3/2\partial}$, on obtient

$$L^* = \frac{v_2[Tv_1 - 2r]}{3v_1 - v_2 + v_1v_2\tau\sqrt{6\partial}}.$$

La méthode de la section 3 permet aussi de planifier les secteurs de livraison lorsque l'on désire balancer la charge de travail entre les véhicules dont on dispose. Il suffit d'utiliser comme valeur de C dans l'équation (2) le nombre total de points à visiter divisé par le nombre de véhicules.

Plusieurs méthodes heuristiques pour générer des tournées de véhicules utilisent des "germes" à partir desquels chacune des tournées est construite progressivement. La qualité des solutions obtenues dépend souvent du choix de ces germes. La méthode précédante devrait permettre un choix judicieux de ces germes. On pourrait par exemple utiliser comme germes les centroïdes des secteurs que l'on a créés par la méthode de la section 3.

5. CONCLUSION

Nous avons présenté une méthode d'élaboration progressive des secteurs de livraison basée sur des formules analytiques qui déterminent les dimensions optimales des secteurs de livraison en fonction de la densité de la demande et de l'éloignement du dépôt. Ceci permet de planifier un système de livraison en tenant compte de la distribution moyenne des points de livraison plutôt qu'à partir de points précis, ce qui évite au moment de la planification d'avoir à produire les tournées qui, de toute façon, varient de jour en jour.

La méthode proposée permet d'intégrer les connaissances et l'expérience du planificateur. On obtient ainsi un système homme-machine extrêmement souple.

RÉFÉRENCES

(Daganzo 84) C.F. Daganzo : The length of tours in zones of different shapes. Transpn. Res. 18B(2), 1984, 135-145.

(Jaillet 88) P. Jaillet, A.R. Odoni : The probabilistic vehicle routing problem, Vehicle Routing: Methods and Studies, B.L. Golden and A.A. Assad, éditeurs, Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland) 1988, 293-318.

(Langevin 89) A. Langevin, F. Soumis : Design of multiple-vehicle delivery tours satisfying time constraints. Transpn. Res. 23B(2), 1989, 123-138.

(Larson 81) R.C. Larson, A.R. Odoni : Urban Operations Research, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1981.

(Newell 86) G.F. Newell, C.F. Daganzo : Design of multiple-vehicle routing delivery tours - I: A ring radial network. Transpn. Res. 20B, 345-363.

(Stein 78) D. Stein : Scheduling dial-a-ride transportation systems. Transpn. Sci. 12, 1978, 232-249.